



توانمندی‌های شمال غرب ایران برای استفاده از توربین‌های بادی کوچک و خانگی

در تولید انرژی پاک

سکینه صفائی‌مهر¹، مجید رضایی بنافشه²

1- کارشناسی ارشد، گروه کلیماتولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

2- استاد، گروه کلیماتولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تبریز، صندوق پستی 5183744345، Sasafa636@gmail.com

چکیده

انرژی پاک در حال حاضر از نیازهای مهم بشر می‌باشد. ایران بعنوان یکی از اعضای شرکت کننده در پروتکل‌های بین‌المللی تغییر اقلیم به دنبال انرژی‌های پاک است. یکی از راه‌های تولید انرژی پاک استفاده از توربین‌های بادی کوچک برای انرژی مصرفی خانوارها به شکل گسترده است. بنابراین بررسی سرعت باد مورد نیاز برای استفاده از توربین‌های کوچک خانگی در شمال غرب ایران (استان‌های آذربایجان شرقی - غربی، اردبیل، زنجان) صورت گرفت. در این پروژه داده‌های اقلیمی سرعت باد ناسا و ایستگاه‌های سینوپتیک شمال غرب کشور در بازه زمانی 2010 الی 2022 مطالعه شد. داده‌های مدل MERRA از وب سایت GIOVANNI ناسا اخذ شد و آنالیز این داده‌ها در برنامه GIS انجام شد. همچنین داده‌های سرعت باد اخذ شده از ایستگاه‌های سینوپتیک شمال غرب کشور از سازمان هواشناسی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. با رسم جداول و نمودارها، محاسبه سرعت باد مورد نیاز توربین‌های بادی کوچک انجام شد. سرعت باد 5 الی 15 متر بر ثانیه و در ارتفاع 8، 10، 15، 25، 35، 40 و 50 متری توسط روابط ریاضی موجود محاسبه شد و مکان‌های بسیار مناسب، مناسب و نامناسب برای نصب توربین‌های کوچک از جهت سرعت باد شناسایی شد. البته برای استفاده مناسب از توربین‌های کوچک به مطالعات طولانی مدت 30 تا 50 ساله نیاز است.

کلید واژه: سرعت باد، داده‌های اقلیمی، GIS، شمال غرب ایران، توربین‌های کوچک و خانگی

Capabilities of northwestern Iran for the use of small and home wind turbines in the production of clean energy

Sakineh Safayi Mehr^{1*}, Majid Rezayi Banafsheh²

1- Masters, Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Professor, Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

* P.O.B. 5183744345 Tabriz, Iran, Sasafa636@gmail.com

Received: 30 October 2022 Accepted: 18 September 2023

Abstract

Clean energy is currently one of the most important needs of mankind. So Iran is looking for clean energy, as one of the participating members in international climate change protocols. Therefore, the required wind speed for use in small domestic turbines was investigated in the northwest of Iran (East-West Azarbaijan, Ardabil, Zanjan provinces). One of the ways to produce clean energy is using of small wind turbines for the energy consumption of households. In this project, the climatic data of wind speed of NASA and the synoptic stations of the northwest of the country were studied in the period from 2010 to 2022. MERRA model data was obtained from NASA's GIOVANNI website and the analysis of these data were done in GIS program. Also, the wind speed data was obtained from the synoptic stations in the northwest of the country from the Meteorological Organization was analyzed and investigated. The required wind speed of small wind

turbines was calculated by drawing tables and graphs. The wind speed was calculated 5 to 15 meters per second and at the height of 8, 10, 15, 25, 35, 40, 50 meters. Furthermore, it was calculated by existing mathematical relationships. Also very suitable, suitable and unsuitable places for installing small turbines were identified in terms of wind speed. Of course, the proper use of small turbines requires long-term studies of 30 to 50 years.

Keyword: Wind speed, Climate data, GIS, Northwestern Iran, Small and domestic turbines

1- مقدمه

گازهای گلخانه‌ای بویژه دی اکسیدکربن بعنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها در حال افزایش است. در چند دهه اخیر رشد جمعیت، افزایش فعالیت‌های اقتصادی، توسعه صنایع و کارخانه‌ها از یک طرف و تغییر کاربری اراضی خصوصاً تخریب جنگل‌ها و مراتع از طرف دیگر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای شده است [1]. در پروتکل کیوتو دولت‌های غیر ضمیمه (شامل دولت ایران) موظف به تهیه فهرست‌های ملی انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع و جابه‌جایی از طریق چاهک‌ها شده‌اند [2]. در متن برنامه مشارکت ملی ارائه شده از جانب جمهوری اسلامی ایران در توافق‌نامه پاریس تحقق کاهش ۴ درصدی گازهای گلخانه‌ای از طریق راهکارهایی مانند اصلاح چرخه سوخت، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش چاهک‌ها تعیین شده است [3].

در بین انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی باد یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های تولید برق است که آلودگی محیط زیست را در پی نداشته و پابان‌ناپذیر نیز می‌باشد. طبق آمار موجود تولید هر کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی از باد می‌تواند از انتشار حدود یک کیلوگرم CO₂ در مقایسه با نیروگاه‌های سوخت فسیلی جلوگیری نماید. همچنین به کاهش مقادیر قابل توجه دی‌اکسیدگورد و اکسیدهای نیتروژن؛ آلاینده‌های هوایی معروف در ایجاد دود و تحریک حملات آسم و مشکلات تنفسی، کمک می‌کند. این کاهش آلودگی هوا تنها در سال 2018 باعث افزایش 9/4 میلیارد دلار پس‌انداز بهداشت عمومی شد. انرژی باد همچنین سالانه میلیاردها گالن آب صرفه‌جویی می‌کند. بخش برق بیش از هر بخش دیگری از جمله کشاورزی، آب برداشت می‌کند. این بدان معناست که هرچه کشور از انرژی بادی بیشتر استفاده کند، می‌تواند آب بیشتری را نیز حفظ کند. در سال 2019، در ایالات متحده آمریکا تولید انرژی باد تقریباً 103 میلیارد گالن (معادل 723 میلیارد بطری آب) مصرف آب در نیروگاه‌های فعلی را کاهش داد [4].

استفاده از تکنولوژی توربین‌های بادی به دلیل قیمت پایین توربین‌های بادی در مقایسه با دیگر انواع انرژی‌های نو، در جهت ایجاد اشتغال در کشور و عدم آلودگی‌های محیط زیستی به صرفه است [5].

تبدیل انرژی باد به حرارت دارای دو امتیاز است: اولاً به سادگی قابل ذخیره بوده، ثانیاً فاقد اتلاف انرژی است [6]. کشورهای دانمارک با 20 درصد، اسپانیا با 9 درصد و آلمان با 7 درصد از نظر درصد تولید برق بادی از کل تولید انرژی الکتریکی در جایگاه‌های نخست قرار دارند [7]. انجمن جهانی انرژی پیش‌بینی کرده است تا کمتر از یک سده‌ی دیگر، سوخت‌های فسیلی مبتنی بر نفت، گاز و زغال‌سنگ، منسوخ خواهند شد [8].

پس از سال ۲۰۲۰ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در انرژی تولید شده می‌تواند از پنج درصد امروز به سی درصد تا سال ۲۰۴۰ برسد [9]. لهستان، به عنوان عضو اتحادیه اروپا، ملزم به تولید 20 درصد انرژی از منابع تجدیدپذیر تا سال 2030 است [10]. پیش‌بینی می‌شود که 20 درصد تقاضای برق ایالات متحده در سال 2030 از طریق انرژی باد تأمین شود [11]. بهره‌برداری از انرژی بادی در ایران از سال 1994 در مناطق منجیل و

رودبار عملاً آغاز شده است و تاکنون انرژی باد در این منطقه به حدود 34 مگاوات رسیده است [12]. ایران تا اوایل سال 2008 تعداد 37 توربین بادی را از شرکت وستاس دانمارک، خریداری و به کشور وارد و نصب کرده است [13]. به منظور بومی‌سازی تکنولوژی توربین‌های بادی در کشور، شرکت صبا نیرو وابسته به گروه صنعتی سدید و با همکاری شرکت دانمارکی وستاس، برای تولید توربین‌های بادی 300، 350 و 360 کیلووات در سال 2000 تأسیس شد [14].

توربین‌های بادی تجهیزاتی هستند که انرژی پتانسیل باد را به انرژی مکانیکی و سپس به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. توربین‌های بادی در یک تقسیم‌بندی کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند: توربین‌های بادی کوچک (خانگی)، توربین‌های بادی متوسط (صنعتی)، توربین‌های بادی بزرگ (نیروگاهی یا مگاواتی) [15].

توربین‌های بادی کوچک در صورت برخورداری از سرعت باد خوب، مساحت حداقل 4047m² در محل نصب، عدم دسترسی به برق شبکه، راحت بودن سرمایه‌گذاری و نصب در 250 تا 300 متری محل سکونت بسیار مفید خواهند بود. توربین‌های بادی می‌توانند از چند کیلووات تا 10 مگاوات برق تولید کنند و در توان‌های تولید انرژی بر اساس سرعت باد طبقه‌بندی می‌شوند. جدول 1 کلاس توربین‌های بادی و عملکرد متوسط مربوطه را مطابق با استاندارد بین‌المللی IEC نشان می‌دهد.

جدول 1 کلاس‌های توربین باد [16]

10	8/5	7/8	6
1- باد شدید	2- باد متوسط	3- باد کم	4- باد بسیار کم

توربین‌های بادی کوچکی که در کاربردهای مسکونی استفاده می‌شوند، بسته به میزان الکتریسیته‌ای که تولید می‌کند، از 400 وات تا 20 کیلووات اندازه دارند. یک خانه معمولی تقریباً 10932 کیلووات ساعت برق در سال (حدود 911 کیلووات ساعت در ماه) مصرف می‌کند. بسته به سرعت متوسط باد در منطقه، یک توربین بادی با رنج 5-15 کیلووات مورد نیاز است تا سهم قابل توجهی در این تقاضا داشته باشد. یک توربین بادی 1/5 کیلوواتی قادر است نیازهای یک خانه را که ماهانه 300 کیلووات ساعت در مکانی با سرعت متوسط باد سالانه 14 مایل در ساعت (6/26 متر در ثانیه) نیاز دارد را برآورده کند [17].

برای انتخاب محل توربین بادی باید فاکتورهای زیادی در نظر گرفته شود. مهم‌ترین فاکتورها عبارتند از: سرعت باد، انرژی باد، نوع تولید و امکان‌سنجی [8].

بهترین مکان‌ها برای توربین‌ها مکان‌هایی هستند که برای باد کمترین مانع وجود دارد که اغلب بالاترین نقطه در یک منطقه است. شکل 1 نمای شماتیک نصب مناسب توربین بادی را نمایش می‌دهد.

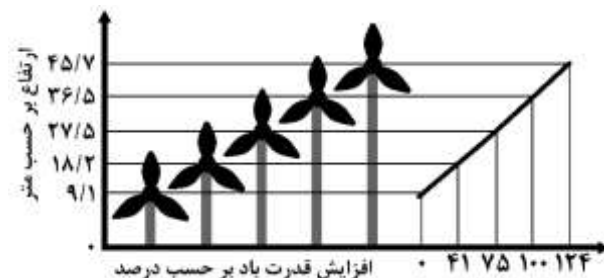
دانسته‌اند [21]. یلماز^۵ و چیلیک^۶ (2008) در منطقه گلیبولوی ترکیه با استفاده از داده‌های سرعت باد، تابع چگالی احتمال باد را به صورت مقایسه 10 تابع تعیین نمودند [22]. اکینسی^۷ (2011) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی سرعت باد را در مناطقی از ترکیه پیش‌بینی کرد و به این نتیجه رسید که شبکه عصبی با سه لایه و چهار نورون، نسبت به حالت‌های دیگر پاسخ بهتری دارد [23]. بروور^۸ و همکاران (2013) از الگوریتم برای پیش‌بینی سرعت باد استفاده کردند و نتایج آن را برای پیش‌بینی پتانسیل انرژی بادی مورد استفاده قرار دادند [24]. اردیم^۹ و همکاران (2014) نیز از مدل ترکیبی آریما برای پیش‌بینی سرعت باد با در نظر گرفتن جهت آن استفاده نمودند و عملکرد آن را قابل قبول ارزیابی نمودند [25]. برون‌دا و همکاران (2020) در پژوهشی به اهمیت انرژی پاک اشاره کرده و امکان استفاده از انرژی باد برای تولید انرژی توسط توربین‌های 5 و 10 کیلووات را در کشور مکزیک برای منازل مسکونی مورد بررسی قرار داده‌اند [16].

بر اساس پژوهش‌های داخلی، جعفری (1999) برای تعیین موقعیت محل مناسب جهت نصب توربین‌های بادی تحقیقاتی در مورد سرعت باد، زمان وزش باد و ضریب تداوم آن در مناطق مختلف انجام داده و سپس توربین مورد نظر را با توجه به آن شرایط، طراحی نموده است [26]. کرد (2000) پتانسیل‌های محلی و ظرفیت‌های بالقوه انرژی باد در مناطق روستایی ایران را بررسی کرده و رژیم باد را با استفاده از آمار هواشناسی سه ساعته مورد مطالعه قرار داده است [27]. جمیل (2001) داده‌های سمت و سرعت باد یک ناحیه آزمایشگاه مواد و انرژی در ناحیه مشکین دشت کرج را با استفاده از بادسنج نوع معمولی (STAP-Italy) اندازه‌گیری نموده و چگالی انرژی بادی این سایت را محاسبه نموده است [28]. فخر مظلومی (2001) ارزیابی اقتصادی و نصب و احداث نیروگاه بادی در مقایسه با نیروگاه فسیلی در ایران را بررسی کرده و نشان داد که از نظر اقتصادی توربین بادی مولد انرژی کاملاً قابل رقابت با نیروگاه فسیلی می‌باشد و از نقطه نظر تکنولوژی، زیست محیطی و مصرف سوخت‌های فسیلی توربین‌های بادی از وضعیت بهتری نسبت به نیروگاه فسیلی برخوردار می‌باشند [29]. رحیمی (2006) در مطالعات خود نشان داد منطقه بروجرد و سایر مناطق مشابه با دارا بودن متوسط وزش باد سالیانه 3/49 متر بر ثانیه و عدم آلودگی محیط زیستی باد، احداث توربین‌های برق بادی کوچک صرفه اقتصادی دارد [30]. رحیم‌زاده و همکاران (2006) روند تغییرات سالانه سرعت باد در ارتفاع 10 متری در 5 ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره 1951-2005 را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که میانگین سرعت باد در برخی ایستگاه‌ها تغییر کرده و در برخی ایستگاه‌ها بدون تغییر بوده است [31]. عبدلی (2009)، قهرمان نودر (2010)، کیهانی^{۱۰} و همکاران (2010)، رضایی بنفشه و همکاران (2011) و میرحسینی و همکاران (2012) روند سرعت باد را با استفاده از روابط ریاضی بررسی کرده‌اند [32,33,34,35,36]. همچنین انتظاری و همکاران (2012)، جهان بخش و همکاران (2014)، صلاحی (2015)، قاسمی و همکاران (2015)، مریانجی (2015)، بیابانی و همکاران (2019)، قائدی (2018) و دهقانی و همکاران (2019) سرعت باد در مناطق مختلف ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند [6, 43-37]. تحقیقات انجام گرفته در کشور



شکل 1 فاصله توربین بادی از اولین انسداد [18]

با افزایش ارتفاع توان تولید بالاتر می‌رود و انرژی بیشتری تولید می‌شود. شکل 2 رابطه ارتفاع با سرعت باد را نشان می‌دهد.



شکل 2 رابطه ارتفاع با سرعت باد [17]

در کشور ما توربین‌های بادی به لحاظ اهمیت در تولید انرژی پاک و موقعیت ایران برای استفاده از این انرژی، با مصارف خانگی و صنعتی ساخته می‌شود [5].

بادهای بر اساس معیار وسعت به سه دسته محلی، منطقه‌ای و سیاره‌ای تقسیم می‌شوند [19]. داده‌های سرعت باد توسط ایستگاه‌های هواشناسی و ماهواره‌ای اندازه‌گیری می‌شوند.

ایستگاه هواشناسی کمک می‌کند که اطلاعات مربوط به منابع بادی به طور دقیق و صحیح جمع‌آوری شود. ایستگاه‌های هواشناسی سرعت باد، مسیر باد، دمای هوا، محیط و فشار هوا را با استفاده از بادسنج، پره بادنما، دماسنج و فشارسنج اندازه‌گیری می‌کنند. این ایستگاه‌ها سرعت باد را در ارتفاع 10 متری می‌سنجند و واحد آن متر بر ثانیه می‌باشد. در سایت ناسا (جیووانی) داده‌های سرعت باد در ارتفاعات مختلف نزدیک به سطح زمین، 10 متری، بالای 10 متر و 50 متری اندازه‌گیری می‌شود، هر چند برخی از این سنجش‌ها دوره‌ای بوده و در بازه زمانی متوقف شده‌اند.

2- پیشینه تحقیق

سیدکی اوپار^۱ و مولی^۲ (1998) ویژگی‌های سرعت باد را با استفاده از 7 ایستگاه سینوپتیک کشور ترکیه در ارتفاع 10 متری از سطح زمین مورد بررسی قرار داده و سرعت متوسط ایستگاه‌های مورد مطالعه را تعیین و توان انرژی باد مناطق مورد مطالعه را برآورد نمودند [20]. مانوئل^۳ و نلسون^۴ (2002) روند روزانه، ماهانه و سالانه سرعت باد در بوشلند تگزاس را برای کسب انرژی مطالعه کرده و بادهای با سرعت 4 الی 25 متر بر ثانیه را جهت کسب انرژی مناسب

6. Celik
7. Akcini
8. Brower
9. Erdem
10. Keyhani

1. Sidki uyar
2. Manuel, L
3. Manuel
4. Nelson
5. Yilmaz

ایران و سایر مناطق جهان در مورد سرعت باد روندهای متفاوتی را از جهت افزایش یا کاهش نشان می‌دهند.

رضازاده و فتاحی (2022) در نتایج تحقیق خود مصرف انرژی‌های نو به لحاظ محیط‌زیستی بررسی کرده و جایگزینی مصرف انرژی‌های فسیلی را مهم دانسته‌اند [44]. سفیدگر و همکاران (2022) از لحاظ فنی مطالعات جامعی در مورد توربین‌های کوچک انجام داده‌اند [45]. مطالعه سرعت باد جهت کاربرد در توربین‌های بادی کوچک با استفاده از داده‌های اقلیمی ماهواره‌ای ناسا بسیار کم صورت گرفته است. عدم استفاده از پتانسیل‌های طبیعی موجود در ایران، منسوخ بودن روش‌های بهره‌برداری از انرژی باد و عدم وجود مطالعات گسترده، اهمیت پژوهش‌ها در ایران را یادآوری می‌کند. هدف پژوهش حاضر پهنه‌بندی منطقه شمال غرب کشور و شناسایی مناطقی است که از نظر توان نصب توربین کوچک مناسب است.

3- داده‌ها و روش‌ها

3-1- موقعیت و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل و زنجان در این پروژه مورد مطالعه قرار گرفت. مجموع مساحت 4 استان 122660 کیلومتر مربع است. (شکل 3)



شکل 3 منطقه مورد مطالعه شمال غرب ایران

داده‌های مورد نیاز سرعت باد از دو طریق بدست آمد:

- 1- داده‌های ماهواره‌ای سایت حیوانی وابسته به ناسا
- 2- داده‌های ایستگاهی منطقه شمال غرب ایران از سازمان هواشناسی، برای چهار استان که شامل 58 ایستگاه بود.

داده‌های ماهواره‌ای ناسا از وب سایت حیوانی به صورت میانگین ماهانه و فصلی مرتب شد و به صورت فایل اکسل درآمد.

نقشه‌های جهانی سرعت باد ناسا به محققان در تعیین محل تولید انرژی باد کمک می‌کند و رایگان در اختیار افراد قرار می‌گیرند. شرکت‌های خصوصی از این داده‌ها برای طراحی، ساخت و بازاریابی فن‌آوری جدید برای مهار انرژی استفاده می‌کنند [46].

جدول 2 داده‌های اخذ شده ماهواره‌ای سرعت باد را معرفی می‌کند.

جدول 2 اطلاعات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده [46]

نام کوتاه	M2TMNXFLX
نام بلند	MERRA-2 tavgM_2d_flux_Nx: 2d میانگین زمانی، تک سطح، جذب، تشخیص سطح شار
DOI	سطحی V5.12.4 10.5067 / 0JRLVL8YV2Y4
نسخه	5.12.4
قالب	NETCDF
پوشش مکان	90.0, 180.0-90.0 -180.0
پوشش زمانی	2022.10.01 - 1980.01.01
حجم فایل	380 مگابایت در هر پرونده
وضوح داده فضایی	0.5 x 0.625 درجه

داده‌های ناسا با فرمت Netcdf قابل دسترسی هستند. یک نمونه از Netcdf می‌تواند دما، بارش یا سرعت باد در طول زمان را نشان دهد. این فرمت معمولاً برای داده‌های علمی در جامعه اقیانوسی و جوی به عنوان یک فرمت ذخیره‌سازی اطلاعات GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد. جعبه ابزار چند بعدی ArcGIS و مرورگر QGIS Netcdf هر دو فایل‌های Netcdf را پشتیبانی می‌کنند [47]. هر یک از این داده‌ها دارای چهار بُعد هستند. ابعاد این داده‌ها شامل طول جغرافیایی یا lon، عرض جغرافیایی یا lat، تراز یا سطح جوی که شامل هر یک از 17 سطح فوقانی جو (1000 تا 10 هکتوپاسکال) یا lev و بُعد زمان یا time است. این چهار بُعد به عنوان X و Y و Z و T شناخته می‌شوند [48]. مدل MERRA¹ یکی از قابل اعتمادترین مدل‌هایی می‌باشد که با هدف کمک به پژوهشگران مختلف از جمله اقلیم‌شناسی و محیط‌زیست برای پاسخگویی به مسائل مربوط به پژوهش‌های آب و هوایی و تغییرات اقلیمی برای بهره‌برداری بهینه از مشاهدات ماهواره‌ای، به کار گرفته شده است. پروژه مرا بر روی تجزیه و تحلیل آب و هوای تاریخی (روند بلندمدت) شرایط آب و هوایی تمرکز نموده است. داده‌های این مدل از قدرت تفکیک 0/1×0/1 برخوردار است [49].

داده‌های ماهواره‌ای در این پروژه برای بررسی سرعت باد مورد نیاز توربین‌های بادی کوچک اخذ شده‌اند. بعد از اینکه داده‌ها از سایت ناسا دانلود شد، بعد از استخراج فرمت‌ها مناطق تحت پوشش سرعت باد بالای 5 متر بر ثانیه بر اساس داده‌های ماهواره‌ای طبق رابطه 1 محاسبه شده است.

$$S_1 = S_n / n \quad (\text{رابطه 1})$$

(مساحت هر کانت S_1)، (مساحت کل منطقه مورد مطالعه)، (n تعداد کل کانت)

درصد و مساحت مناطق تحت پوشش باد، بدست آمده و با توجه به اینکه در داده‌های اخذ شده از ناسا، منطقه مورد مطالعه 35 کانت می‌باشد، برای محاسبه، مساحت کل منطقه را بر تعداد کانت تقسیم نموده و مساحت هر کانت محاسبه شده است. رابطه 1 نحوه محاسبه را نشان می‌دهد. جدول 4 محاسبه مساحت و درصد میانگین فصلی سرعت باد 5 متر بر ثانیه داده‌های ماهواره‌ای را در بازه زمانی 2010 تا 2022 نشان می‌دهد.

سرعت باد با بالا رفتن ارتفاع افزایش می‌یابد. در پروژه حاضر به لحاظ اهمیت سرعت باد 5 متر بر ثانیه جهت کارکرد مطلوب توربین‌های خانگی، لازم به نظر می‌رسید سرعت باد داده‌های ایستگاهی در ارتفاعات مختلف محاسبه شود. رابطه 2 جهت محاسبه ارتفاع از مقاله انتظاری و همکاران (1391) اخذ شده است [37].

$$V/V_{ref} = (Z/Z_{ref})^\alpha \quad (\text{رابطه 2})$$

V: سرعت باد در ارتفاع Z بالای سطح زمین (سرعت باد در ارتفاع مورد نظر)

V_{ref} : سرعت مرجع یا سرعت بادی که در ارتفاع Z_{ref} اندازه‌گیری شده (سرعت در ارتفاع 10 متری)

α : تابع میزان زبری یا ناهمواری سطح زمین است.

4- نتایج و بحث

داده‌های میانگین ماهانه سرعت باد ماهواره‌ای از وب سایت ناسا دانلود شد، این داده‌ها که به صورت فرمت Netcdf بود، برای استخراج در نرم‌افزار

Arcmap وارد شد و درون‌یابی شد. جدول 3 میانگین سرعت باد فصل‌های سال بر اساس داده‌های ناسا رادر طی 13 سال نشان می‌دهد.

جدول 3 میانگین سرعت باد فصلی بر اساس داده‌های ناسا طی 2010-2020

داده‌های ماهواره‌ای سرعت باد	201 0	201 1	201 2	201 3	201 4	201 5	201 6	201 7	201 8	201 9	202 0	202 1	202 2	میانگین ن فصل‌ها
ژانویه- فوریه- مارس	6/6	5/3	6/2	6/4	5/5	6/5	6/5	5/2	6	5/8	5/6	6/2	6	5/9
آوریل- می- جان	5/1	5/8	5/3	5	5/4	6/2	6	5/9	4/8	5/1	5/1	5/3	5/4	5/4
جولای- آگوست- سپتامبر	5/5	5/8	5/6	5/8	5/6	5/3	5/9	5/4	5/6	5/8	6/6	5/4	5/5	5/7
اکتبر- نوامبر- دسامبر	5/5	4/6	5	5/1	4/9	5/2	5/4	5/4	5/3	4/4	3/8	5	4/7	5/1
میانگین سال	5/7	5/4	5/5	5/6	5/3	5/8	5/9	5/5	5/4	5/3	5/7	5/4	5/4	5/5

جدول 4 داده‌های ماهواره‌ای سرعت باد استخراج شده را براساس رابطه 1 محاسبه کرده و درصد و مساحت مناطق تحت پوشش را نشان می‌دهد.

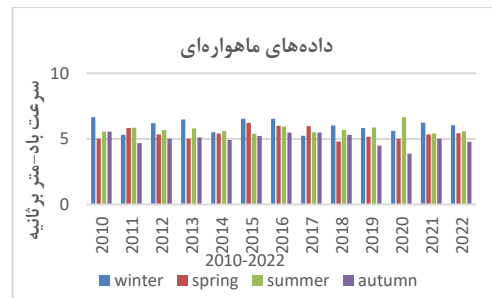
جدول 4 محاسبه مساحت و درصد مناطق دارای سرعت باد بالای 5 متر بر ثانیه

سال	ژانویه- فوریه- مارس			آوریل- می- جون			جولای- آگوست- سپتامبر			اکتبر- نوامبر- دسامبر		
	کانت	درصد	مساحت Km ²	کانت	درصد	مساحت Km ²	کانت	درصد	مساحت Km ²	کانت	درصد	مساحت Km ²
2010	35	100	122660	19	57/14	66585/5	23	65/71	80603/5	20	57/14	70090
2011	25	71/42	87612/5	30	85/71	105135	24	68/57	84108	15	42/85	52567/5
2012	31	88/54	108639/5	23	65/71	80603/5	24	68/57	84108	16	45/71	56072
2013	32	91/42	112144	16	45/71	56072	24	68/57	84108	21	60	73594/5
2014	26	74/28	91117	26	74/28	91117	23	65/71	80603/5	19	54/25	66585/5
2015	27	77/14	94621/5	32	91/42	112144	23	65/71	80603/5	21	60	73594/5
2016	32	91/42	112144	29	82/85	101630/5	27	77/14	94621/5	27	77/14	94621/5
2017	21	60	73594/5	31	88/54	108639/5	22	62/85	77099	22	62/85	77099
2018	29	82/85	101630/5	24	68/57	84108	23	65/71	80603/5	22	62/85	77099
2019	25	71/42	87612/5	20	57/14	70090	26	74/28	91117	8	22/85	28036
2020	26	74/28	91117	29	82/85	101630/5	21	60	73594/5	5	14/28	17522
2021	30	85/71	105135	24	68/57	84108	27	77/14	94621/5	19	54/25	66585/5
2022	31	88/54	108639/5	21	60	73594/5	24	68/57	84108	14	40	49064
میانگین	28/46	81/31	99734	24/92	71/2	87333	23/92	68/34	83825	17/61	50/31	61715

شکل 4 میانگین سرعت باد فصل‌های سال را بر اساس داده‌های ناسا در سال‌های 2010 تا 2022 مقایسه کرده است. همانطور که مشاهده می‌شود زمستان دارای بیشترین سرعت باد و پاییز با کمترین سرعت باد ثبت شده ناسا است، ولی نکته قابل توجه این است که میانگین سرعت باد بر اساس داده‌های ناسا در منطقه بالای 5 متر بر ثانیه است.

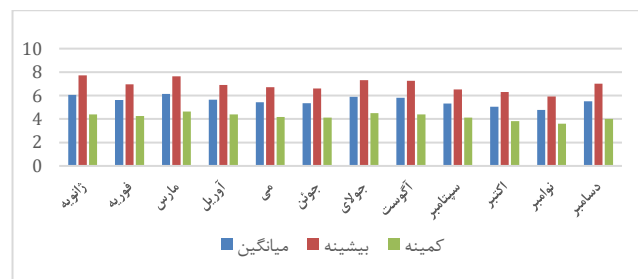
شکل 4 نمودار مقایسه سرعت باد داده‌های فصل ناسا در سال‌های 2010-2022

در جدول 5 و نمودار شکل 5 کمینه و بیشینه سرعت باد و همچنین میانگین هر یک از ماه‌های سال در بازه زمانی مورد مطالعه (2010-2022) استخراج شده است. ماه مارس و ژانویه با بالاترین میانگین در طی 13 سال بوده است و ماه نوامبر با کمترین سرعت باد بر اساس داده‌های ناسا بوده است.

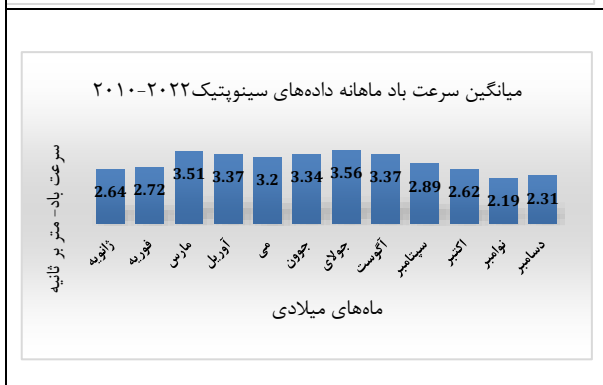
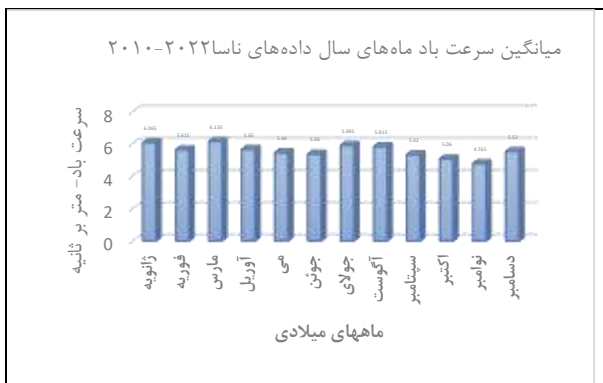


جدول 5 میانگین، کمینه، بیشینه ماهانه سرعت باد داده‌های ماهواره‌ای سال 2010-2022

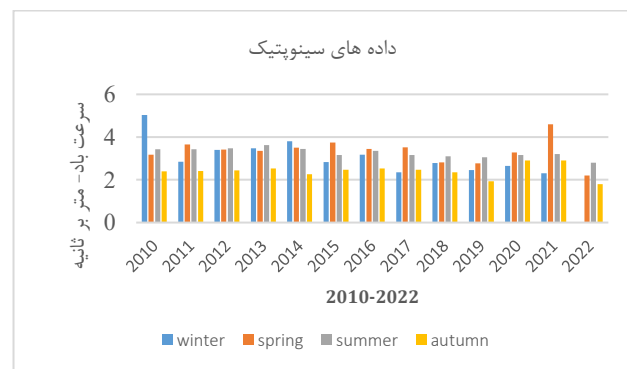
	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
میانگین	6	5/6	6/1	5/6	5/4	5/3	5/8	5/8	5/3	5	4/7	5/5
بیشینه	7/7	6/9	7/6	6/9	6/7	6/6	7/3	7/2	6/5	6/3	5/9	7
کمینه	4/4	4/2	4/6	4/3	4/1	4/1	4/4	4/3	4/1	3/8	3/6	4



شکل 5 نمودار میانگین، کمینه، بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) ماهانه داده‌های ناسا 2010-2022

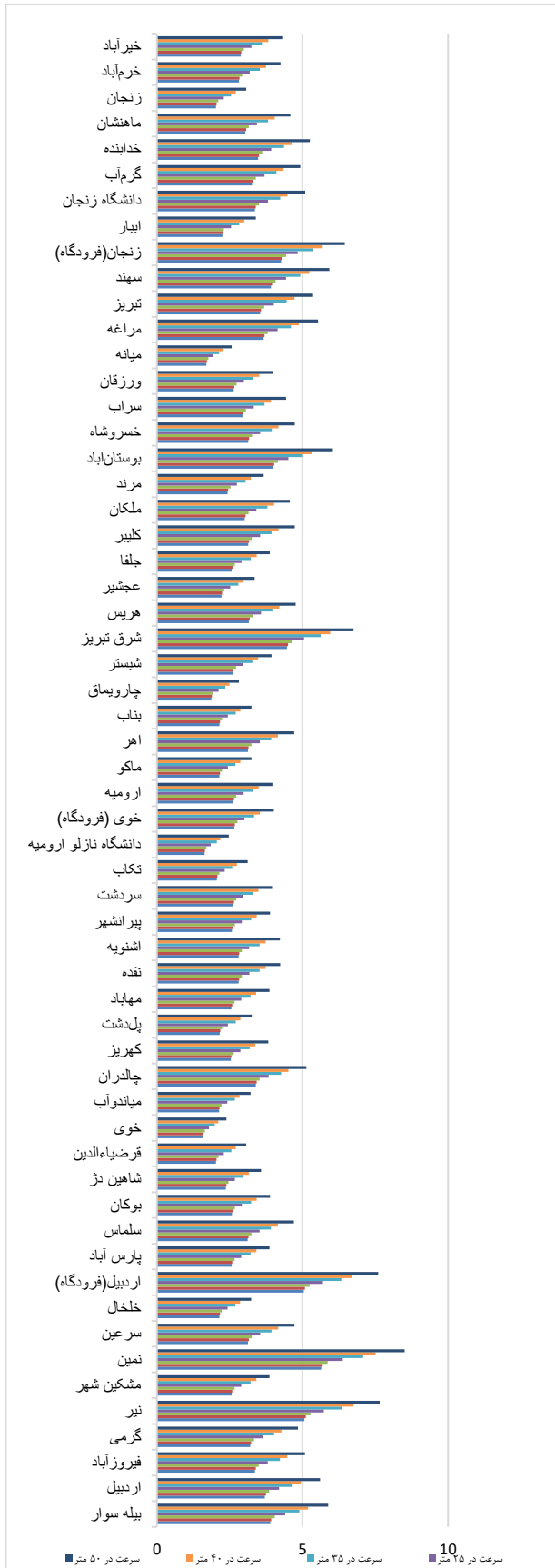


شکل 7 نمودار مقایسه سرعت باد ماه‌های سال براساس داده‌های ناسا و ایستگاه‌های سینوپتیک 2010-2022

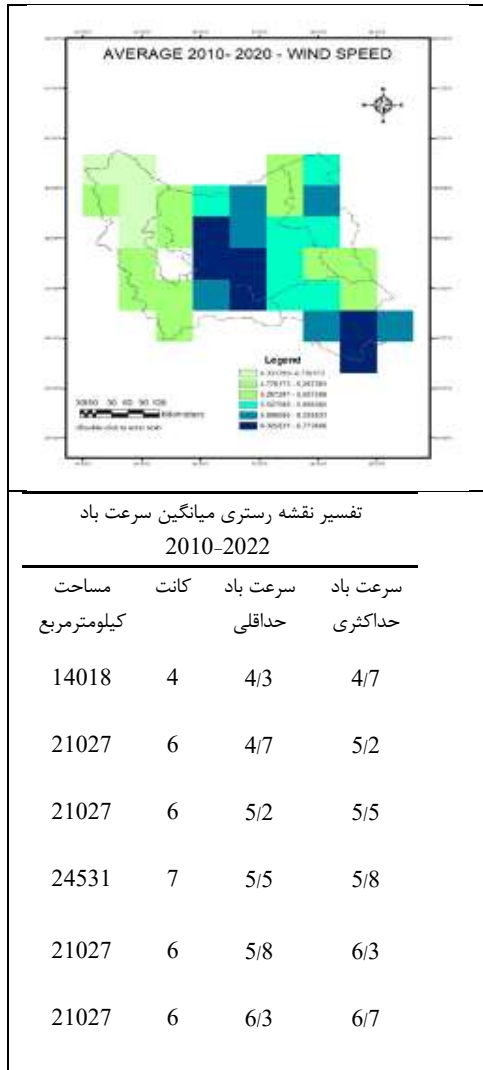


شکل 6 نمودار مقایسه سرعت باد فصل‌های سال ایستگاه‌های سینوپتیک 2010-2022

در شکل 6 و 7 نمودار میانگین سرعت باد در طی ده سال به صورت تقریبی بالاتر از 2 متر بر ثانیه بوده است، در اکثر فصول به طور تقریبی میانگین سرعت باد 3/2 متر بر ثانیه بوده است. در مشاهدات به عمل آمده میانگین سرعت باد در فصل زمستان 3/1 در فصل بهار 3/3 و در فصل تابستان 3/3 و در فصل پاییز 2/3 متر بر ثانیه بوده است.



مطابق شکل 7 براساس داده‌های ماه ناسا مارس، ژانویه و جولای بیشترین سرعت باد ثبت شده است و ماه‌های نوامبر و اکتبر و سپتامبر کمترین سرعت باد میانگین ماهانه ثبت شده است. بر اساس داده‌های ایستگاهی ماه‌های جولای، مارس، آوریل بیشترین میانگین ماهانه سرعت باد را ثبت کرده‌اند و ماه‌های نوامبر و دسامبر کمترین سرعت باد میانگین ماهانه را داشته است، ماه ژانویه در داده ناسا در رتبه دوم قرار دارد، اما در شکل 7 رتبه نهم را از نظر سرعت باد میانگین ماهانه 13 سال در داده‌های ایستگاهی دارد. تفاوت این موضوع به تفاوت در برداشت داده‌های ایستگاهی و داده‌های ماهواره‌ای سرعت باد مربوط می‌شود. داده‌های ایستگاهی در ارتفاع ده متری از سطح زمین و نقطه‌ای ثبت شده است و داده‌های ماهواره‌ای در نزدیکی سطح زمین و در وسعت پیکسل و کانت و مساحت بزرگتر ثبت گردیده است.



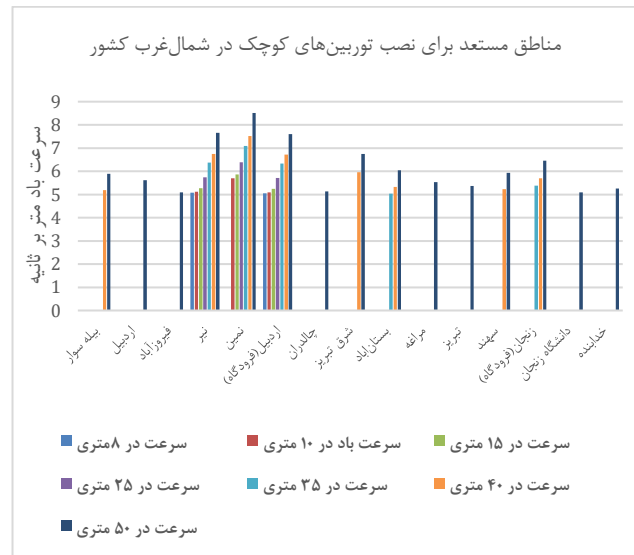
شکل 10 نقشه رستری میانگین سرعت باد شمال غرب 2010-2022

استان اردبیل و استان آذربایجان شرقی بیشترین ایستگاه‌های با سرعت بالای 5 متر بر ثانیه را دارا می‌باشند؛ زنجان در ردیف بعدی و آذربایجان غربی در ردیف آخر از این لحاظ بین استان‌های مورد مطالعه قرار دارد. (جدول 6)

جدول 6 مقایسه ایستگاه‌های سینوپتیک استان‌ها از جهت استعداد نصب توربین کوچک

استان زنجان	استان آذربایجان شرقی	استان آذربایجان غربی	استان اردبیل
زنجان (فرودگاه)	شرق تبریز	چالدران	بيله سوار
دانشگاه زنجان	بستان‌آباد	اردبیل	اردبیل
خدابنده	مراغه	فیروزآباد	فیروزآباد
	تبریز	نیر	نیر
	سهند	نمین	نمین
		اردبیل	اردبیل
		(فرودگاه)	(فرودگاه)

همانطور که در شکل 8 و 9 در نمودارها مشاهده می‌شود توربین‌های مناسب برای ایستگاه‌های سینوپتیک بر اساس داده‌های میانگین ماهانه، بر اساس سرعت باد قابل رویت است. در این نمودار 15 ایستگاه از 58 ایستگاه قابلیت نصب، برای توربین‌های بالای 50 متر ارتفاع را دارند تا سرعت مورد نیاز توربین تامین شود و عملکرد تعریف شده توربین‌ها محقق گردد. در اینجا چند نکته قابل تامل است؛ اکثر ایستگاه‌ها در نقاط شهری واقع شده‌اند و اکثر شهرها در ارتفاعات پایین احداث شده‌اند، اما با توجه به داده‌های جیووانی بیشتر مناطق مثل روستاها، رستوران‌های بین شهرها، پمپ‌بنزین‌ها، مرغداری‌ها، کارگاه‌های کوچک صنعتی و ... می‌توانند توربین‌های کوچک را نصب کرده و از پتانسیل باد بهره‌برداری کنند. این مناطق از جهت نبود موانع انسداد باد و عدم مزاحمت از نظر سر و صدای توربین، و همچنین نبود نگرانی از جهت پرتاب پره‌های توربین در شرایط شدت سرعت باد، مکان‌های بسیار مناسبی جهت استفاده توربین‌های کوچک می‌باشند.



شکل 9 مناطق مستعد نصب توربین بادی کوچک در شمال غرب ایران

شکل 10 نقشه رستری میانگین سرعت باد 13 سال شمال غرب در بازه زمانی 2010 تا 2022 را نمایش می‌دهد. در نقشه رستری شکل 10 کانت‌هایی که در طی سال‌های مورد مطالعه دارای سرعت باد بالای 5 متر بر ثانیه بوده‌اند مشخص شده است، در این نقشه 26 کانت سرعت بالای 5 متر بر ثانیه داشته است، همان‌طور که ملاحظه می‌شود استان زنجان، اردبیل و آذربایجان شرقی دارای مناطق بیشتری از جهت سرعت بالای 5 متر بر ثانیه هستند و در آذربایجان غربی در شهرستان چالدران و شمال تکاب و شاهین‌دژ و بوکان و مهاباد و شهرستان میاندوآب دارای سرعت باد بالای 5 متر بر ثانیه هستند.

فیروزآباد و اردبیل توربین‌های قابل نصب در ارتفاع 50 متری می‌توانند کارایی لازم را داشته باشند. 2- هر چند ایستگاه‌های فرودگاهی هواشناسی از جهت نصب توربین‌های کوچک بادی مناسب هستند، اما بدلیل شرایط ویژه فرودگاه‌ها نصب توربین باید در زمین‌های پیرامونی این مناطق انجام شود. به نظر می‌رسد استفاده از توربین‌های کوچک در مناطق بیرون شهر مثل کارگاه‌های کوچک، مرغداری‌ها، گاوداری و... که دور از شبکه برق‌رسانی هستند، مفید و به صرفه باشد.

3- با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، از 35 کانت منطقه مورد مطالعه شمال‌غرب کشور 29 کانت دارای باد بالای 5 متر بر ثانیه است که این میزان، 74 درصد منطقه را پوشش می‌دهد. نتیجه داده‌های ناسا به جهت بزرگی مقیاس بعنوان یک برآورد کلی بوده است اما داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک مناطق شمال‌غرب ایران از جهت مطالعه در ابعاد کوچکتر مناسب بوده‌اند. از 58 ایستگاه مطالعه شده در بازه زمانی 2010 الی 2022 تنها 15 ایستگاه توانمندی نصب توربین را دارند که 25 درصد ایستگاه‌ها را شامل می‌شود. این در حالی است که مناطق بلند و کوهستانی منطقه فاقد ایستگاه بوده و به نظر می‌رسد برای نصب توربین به داده‌های ناسا در این مناطق باید اعتماد نموده و کاستی‌های ایستگاه‌های سینوپتیک را با داده‌های ناسا رفع کرد.

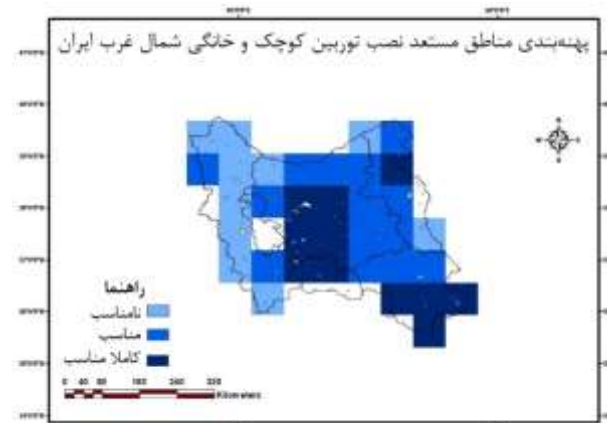
4- بر اساس مطالعات 13 ساله در بازه زمانی 2010 تا 2022، میانگین سرعت باد داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک 3/22 متربرثانیه بوده است و بر اساس داده‌های ماهواره‌ای میانگین سرعت باد 5/5 متربرثانیه می‌باشد. در مجموع بیش از 60 درصد منطقه مورد مطالعه، توانمندی استفاده از توربین‌های بادی کوچک را دارد.

5- در منطقه شمال‌غرب ماه‌ها و فصول گرم سال توانمندی بیشتری نسبت به ماه‌های سرد سال برای بهره‌برداری از توربین‌های بادی کوچک دارند. طبق داده‌های سینوپتیک ماه‌های جولای، مارس، آوریل و آگوست (تقریباً معادل ماه‌های تیر، اسفند، فروردین و مرداد) به ترتیب ماه‌های با سرعت باد بالا هستند، در داده‌های ناسا ژانویه هم بعنوان ماه با سرعت بالا در رده دوم میانگین 13 سال قرار داشت. ماه‌های گرم سال تیر، مرداد دارای سرعت باد بالایی بوده‌اند و ماه‌های بعدی در رده‌های دیگر قرار دارند.

6- مراجع

- [1] Se. Z. Samadi, A. Massah Boani and M. Mahdavi, Selection of Predictor Variable for Statistical Scaling of Temperature and Rainfall Data in Karkheh Watershed, 5th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran (Sustainable Natural Disaster Management), May 2 and 3, 2009, University of Agricultural Sciences and Gorgan natural resources, 2009. (in Persian)
- [2] A. Shirave, Kyoto Protocol and Financing of Economic Plans in Developing States, *Journal of Public Law Research*, Vol. 22, pp. 230-205, 2011. (in Persian)
- [3] M. Piri, A Reflection on the Legal Effects of the Accession of the Islamic Republic of Iran to the Paris Agreement on Climate Change, *Public Law Studies*, Volume 48, Winter 2018, No. 4, pp. 887-908, 2000. (in Persian)
- [4] <https://www.awea.org/wind-101/benefits-of-wind/> /environmental-benefits, 2020. (in Persian)
- [5] <http://www.ari.ac.ir/index.php/fa/note/850-98-03-13-2>, 2020. (in Persian)
- [6] R. Dehghani, S. Islamian, H. Ghayyur Najafabadi and R. Modarres, Frequency analysis of wind speed and direction and its role in regional planning of Fars province, *Quarterly Journal of New Attitudes in Human Geography*, Year 11, Number 4, Fall 2019, pp. 142-125, 2019. (in Persian)

شکل 11 پهنه‌بندی مناطق از نظر توان سرعت باد مورد نیاز توربین بادی کوچک را بر اساس داده‌های سرعت باد در طی سال‌های 2010 تا 2022 نشان می‌دهد. در این نقشه سعی شده است مناطق از جهت نصب توربین در سه حال بسیار مناسب، مناسب، نامناسب نشان داده شود.



شکل 11 پهنه‌بندی مناطق از نظر توان سرعت باد مورد نیاز توربین بادی کوچک

جدول 7 مناطق کاملاً مناسب، مناسب و نامناسب را از جهت نصب توربین‌های بادی کوچک به صورت درصد منطقه تحت پوشش و مساحت در بر گرفته نمایش می‌دهد.

جدول 7 مناطق کاملاً مناسب، مناسب و نامناسب نصب توربین بادی کوچک در

شمال‌غرب ایران				
نصب توربین	تعداد کانت	درصد تحت پوشش	مساحت تحت پوشش (کیلومتر مربع)	سرعت باد (متر بر ثانیه)
نامناسب	10	28/5	35045	4/3 - 5/03
مناسب	14	40	49066	5/03 - 5/8
کاملاً مناسب	11	31/4	38552	6/7 - 5/8
مقدار کل	35	100	122660	6/7 - 4/3

5- نتیجه‌گیری

توربین‌های بادی کوچک از 200 وات تا 15 کیلووات توان تولید انرژی از سرعت باد 2 تا 6 متر بر ثانیه برخوردارند و این میزان تولید انرژی از حرکت قایق بادی کوچک تا مصرف سالانه انرژی یک خانوار را تامین می‌کند. برای نصب این توربین‌ها بایستی دو اصل مهم سرعت باد و ارتفاع مطالعه گردد.

1- براساس داده‌های ایستگاهی منطقه مورد مطالعه، در ایستگاه‌های نیر، نمین و فرودگاه اردبیل از انواع مختلف توربین‌های بادی کوچک که در ارتفاع 8، 10، 15، 25، 35، 40 و 50 متری نصب می‌شوند، می‌توان استفاده کرد. همچنین در ایستگاه‌های زنجان و بستان‌آباد امکان استفاده از توربین‌های کوچک در ارتفاع 35، 40 و 50 متری وجود دارد و در ایستگاه‌های بیله‌سوار و سهند و شرق تبریز توربین‌های قابل نصب در ارتفاع 40 و 50 متری بهتر کار می‌کنند و در ایستگاه‌های خدابنده، دانشگاه زنجان، تبریز، مراغه، چالدران،

- [30] A. Rahimi, M. Saghafi, Technical and Economic Evaluation of Construction of Small Wind Turbines in Boroujerd, *Journal of Environmental Science and Technology*, Volume 8, Number 3, Fall 85, 2006. (in Persian)
- [31] F. Rahimzadeh, N. Mohammadian, and S. Akbarnejad, A study of wind speed changes at a height of ten meters above the ground in a number of major cities in the country in the climatic period 1951-2000, *Newar Scientific-Extension Journal*, Tehran, No. 62 and 63, pp. 7-20, 2006. (in Persian)
- [32] H. Abdoli, B. Sari Sarraf, A. Hosseini Shami Chi, Feasibility Study of Wind Energy Potential and Its Application in Industrial Development Projects, *Journal of Geographical Space*, Ahar Branch, Azad University, Year 9, Issue 28, Winter, 2009. (in Persian)
- [33] N. Qahraman, A. Qarakhani, Study of temporal changes of wind speed in Iran's climatic zone, *Journal of Irrigation and Drainage*, No. 1, Volume 4, Spring, pp. 31-43, 2010. (in Persian)
- [34] A. Keyhani, M. Ghasemi-Varnamkhashti, M. Khanalia, and R. Abbaszadeh, An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, *Tehran Energy*, 35(1), 188-201, 2010. (in Persian)
- [35] M. Rezaei Banafsheh, KH. Javan, and B. Zeinali, Study of the trend of wind speed changes in northwestern Iran, *Quarterly Journal of Lar Natural Geography*, Fourth Year, No. 13, Fall 2011, pp. 27-36, 2011. (in Persian)
- [36] S. Mir Hosseini, M. Jahangiri, Eh. Hassanaabadi, M. Khairkahan, Investigation of wind energy potential of Moallem area in Damghan city as the best place to install wind turbine in Semnan province, *Second International Conference on New Approaches to Energy Conservation*, Tehran, South Pars Special Energy Zone, 2012. (in Persian)
- [37] A. Entezari, A. Amira Ahmadi, A. Erfani, A. Borzoi, Evaluation of wind energy potential and feasibility study of wind power plant construction in Sabzevar, *Bi-Quarterly Journal of Geographical Studies of Arid Areas*, Third Year, Ninth and Tenth Issues, Autumn and Winter, pp. 33-46, 2012. (in Persian)
- [38] S. Jahanbakhsh, M. Rezaei Banafsheh, Y. Denpaghoh, M. Ismailpour, Feasibility study of wind energy use in Ardabil and Zanjan provinces, *Journal of Natural Geographical Research*; Year 46, No. 3, pp. 261-274, 2014. (in Persian)
- [39] B. Salahi, M. Behrozi, M. Ebrahimi, H. James, Evaluation of wind energy potential and feasibility study of its use in synoptic stations of Fars province, *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, Second Year, First Issue, Spring and Summer 94, Serial Issue, pp. 75-90, 2015. (in Persian)
- [40] A. Ghasemi, F. Seyyedi, Simulation of changes and prediction of wind speed in Iran using 50-year statistical data (1961-2010), *Quarterly Journal of Geographic Information Research*, Volume 24, Number 94, Summer, pp. 96-105, 2015. (in Persian)
- [41] Z. Marianji, S. Hosseini, H. Abbasi, Zoning and forecasting of wind energy potential in Hamedan province using GIS, *Journal of GIS*, Volume, Issue, Winter, pp. 185-196, 2017. (in Persian)
- [42] L. Beyabani, A. Nazari, H. Khosravi, M. Kazemzadeh, Study of the trend of monthly wind speed changes on the shores of Lake Urmia during the last thirty years, *two scientific journals of dry canvas*, Volume 9, Number 1, Spring and Summer, pp. 139-150, 2019. (in Persian)
- [43] S. Qaedi, Wind speed trend in Iran, *Journal of Desert Management*, No. 13, Spring and Summer, pp. 15-28, 2018. (in Persian)
- [44] A. Rezazadeh, F. Fattahi, The impact of economic growth on the relationship between energy consumption and environmental pollution in D8 countries, *Environmental Research*, Year 12, Number 24, Autumn and Winter, pp. 237 to 251, 2022. (in Persian)
- [45] Z. Sefidgar, A. Ashrafizadeh, A. Arab Kohsar, Cross-flow Small scale wind turbines, *Renewable and New Energies Bi-Quarterly*. No. 2, Volume 9, 2022. (in Persian)
- [7] S. Arkhi, Survey of wind energy use in Iran and the world, *the second national conference on new and clean energy*, Hamedan, 2013. <https://civilica.com/doc/276971>. (in Persian)
- [8] F. Mirzabaghi, S. Mousavi, Analysis and study of electricity generation using wind energy in different countries of the world, *Proceedings of the Second National Conference on Wind and Solar Energy*, Tehran, March, 2012. (in Persian)
- [9] A. Shaukat, *The Rise of Renewable Energy, Major Technology Change by 2050*, Chamber of Commerce, Industries, Mines and Agriculture, First Edition, Tehran, Fall, pp. 171-190, 2017. (in Persian)
- [10] A. Bielecki, S. Ernst, W. Skrodzka, I. Wojnicki, The externalities of energy production in the context of development of clean energy generatio, *Environmental Science and Pollution Research*, 27:11506–11530, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07625-7>
- [11] S. Theodoropoulos, D. Kandris, M. Samarakou, G. Koulouras, Fuzzy Regulator Design for Wind Turbine Yaw Control, *Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal*, Volume 2014, Article ID 516394, 9 pages, 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/516394>.
- [12] H. Kamran, B. Gholami, Is. Yari, S. Hosseini, H. Khaledi, Geography and National Power, *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Volume 13, Spring Issue, 2010. (in Persian)
- [13] Vestas, *vestas wind turbine system specification*, www.Vestas.com, 2008.
- [14] Saba Niroo, www.sabaniroo.co.ir, 2012. (in Persian)
- [15] <https://www.iranrea.com>, 2020. (in Persian)
- [16] M. Borunda, Ja. Cruz, R. Garduno-Ramirez, A. Nicholson, *Technical assessment of small-scale wind power for residential use in Mexico*, PLoSONE15 (3) ,2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230122>.
- [17] <https://www.energy.gov/energysaver/installing-and-maintaining-small-wind-electric-system>, 2020.
- [18] <https://www.windpowerengineering.com/high-small-wind-turbine>, 2020. (in Persian)
- [19] M. Kaviani, B. Alijani, *Fundamentals of Meteorology*, *Samat Publications*, sixth edition, 1999. (in Persian)
- [20] T. Sidki Uyar, J. Molly, *Wind Energe in Turkey*, 1998. <http://www.dewi.de>.
- [21] I. Manual, I. nelson, *Analysis of Time Series Data on Wind Turbine Loads*, 2002. <http://www.ce.utexas.edu/Prof/Manuel/Papers/Trexreport-AaronSterns.pdf>.
- [22] V. Yilmaz, E. Celik, A Stathstical Approach to Estimate the wind Speed Distribution, *Dogs uneverisi Dergisi*, <http://journal.dogus.edu.tr>, 2008.
- [23] T. Akcini, Short term wind speed forecasting with ANN in Batman.Turkey. In: *Proceedings of Electronics and Electrical Engineering Conference*. China. No. 1. (170), pp.41-45, 2011.
- [24] M. Borunda, Ja. Cruz, R. Garduno-Ramirez, A. Nicholson, *Technical assessment of small-scale wind power for residential use in Mexico*. PLoSONE15 (3), 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230122>.
- [25] E. Erdem, J. Shi, P. Yidong, Short-Term forecasting of wind speed and power – A clustering Approach, *Industrial and system Engineering Research conference*. 1-11, 2014.
- [26] A. Jafari, Construction and Testing of Wind Turbine and Electricity, *Master Thesis*, Shiraz University, Department of Mechanics, 1990. (in Persian)
- [27] B. kord, *The Role of New Energy in Rural Energy Supply in Iran*, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Faculty of Humanities, Department of Geography, 2000. (in Persian)
- [28] M. Jamil, Wind energy density, *Electricity Industry Monthly*, No. 42 and 43, 2001. (in Persian)
- [29] M. Fakhr Mazloumi, Economic evaluation of wind turbine power plant installation and construction in comparison with fossil power plants in Iran, *Master Thesis in Energy Economics and Marketing*, Islamic Azad University, Central Tehran, 2001. (in Persian)

- [46] <https://visibleearth.nasa.gov/images/56893/global-wind-speed?size=large>, 2020.
- [47] <https://mapscale.ir>, 2020.
- [48] <http://girps.net/data-nc-format>, 2020.
- [49] K. Raispour, H. Fahimi, R. Purkarim, Analysis of temporal-spatial changes of surface wind speed in the geographical area of Iran using MERRA-2 model, *Natural Geographical Quarterly*, Twelfth Year, No. 48, Summer, pp. 89-104, 2020. (in Persian)